ハンドボール競技における指導方法に関する提案

——確率論的方法による試合の得点経過の検討——

山　内　　賢*

Ⅰ．緒　　言 (1)(2)(3)(4)

これから勝負を試みる者（指導者，選手）がその勝負に勝つために考えるべき最も重要なことは，勝負をする事前に何らかの合理的な練習方法を見つけ出すことである。

上述のことを実現するためには，実際の試合結果から解析した客観的な数値をもとに予測できる質的な議論を行わなければならない。

解析の手段は，数理科学的に処理する方法，運動力学的な方法，生理学的な方法，など様々である。本報では，ハンドボール競技における競争現象（得点経過の様相）を数理科学的に解析する。この方法で解析するには，二つの方法がある。すなわち，決定論的方法と確率論的方法である。

今回は，確率論的方法で解析することを試みる。

確率論的方法は，データの平均化を目的とした方法であり，統計学的な分析方法がこのモデルにあたる。統計的方法とは，任意の統計資料（以下，データと略称）を，ある1つの概念のもとに，数量的に処理することである。すなわち，測定値を既存の公式にあてはめて，そのデータの特徴を客観的に解明することである。

* 慶應義塾大学体育研究所助手

ハンドボール競技における試合の勝敗は，ある特定に制限された時間内に獲得したチームの得点数によって決定する。お互いのチームの得点は，チームの指導者の意図（作戦の指揮）ならびに選手それぞれの体力の差や，そのチームの戦力（戦術を含めた力量）の差などのなんらかの因子のもとで経過していると考えることができる。その得点経過の様相を確率論的方法を用いて論議することによって，今後の試合に臨むチームは，対戦する相手チームの特質の予測や試合に勝つための試合展開における作戦の指揮ならびに試合までの練習計画を事前に立てることができる。

すなわち，確率論的方法としては，情報エントロピー（以下$H(A)$と略記），および，期待値（以下μと略記）を用いて，各チームのある任意の時間内における得点獲得の特質を検討する。

Ⅱ．目　　　　　的

本研究は，ハンドボール競技における得点経過の様相を「Ⅰ．緒　言」で述べた確率論的方法を用いて解析し，そのデータの質を議論することにより，ハンドボール競技におけるあるひとつの練習方法を提案することを目的とする。

Ⅲ．データの解析の対象

解析対象は以下の２試合である。

（α）　平成２年，全国高等学校総合体育大会・高松宮賜第41回全日本高等学校ハンドボール選手権大会の決勝。

（β）　平成３年，第14回全国高等学校ハンドボール選抜大会の決勝。

Ⅳ．データの解析の方法(4)(5)

解析の対象となるそれぞれの試合において実際に記録された公式スコアシートより，試合時間１分ごとにチームが獲得した得点の累積度数を求めた。

累積度数から観たハンドボール競技における得点経過は，試合時間の進行にともない，減少することなく増加する。「Ⅰ．緒　言」にも述べたが，実際には，チームの指導者の意図（作戦の指揮）ならびに選手それぞれの体力の差，そのチームの戦力（力量）の差，その他の試合の状況など様々な得点の増加を抑制するものが多いために，単なる一次的な単調増加でない。

上述の理由より，試合（α），（β）のそれぞれにおける以下の２つの視点に基づいた各チームの

累積度数の差分（$=\delta_i, 1\leqq i\leqq t$）を求めた（$\delta_i$ の求め方は，Appendix 1 参照)。

①試合の前半と後半の全てを通しての差分。

②試合の前半のみと後半のみのそれぞれにおける差分。

分析する差分は，得点経過の瞬時的な傾きを示している。各試合各チームに出現する①の視点における差分の$H(A)$，および，②の視点における差分の μ（μ_1=前半のみ，および，μ_2=後半のみ）を求めた。

$H(A)$およびμとは何かを以下に説明する。

確率変数をδ_iとするある事象が実際に生起したときの生起確率（$P_i, 1\leqq i\leqq t$）は，一つの確率事象系（確率事象系A）を形成する。

$$A=\begin{Bmatrix}\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_t \\ P_1, P_2, \ldots, P_t\end{Bmatrix}$$

生起確率P_iの事象δ_iが実際に生起したとき，事象δ_iが生起することを知る情報量を$-\log(P_i)$で定義する。

確率事象系が排反であるとき，($\sum_{i=1}^{t}P_i=1$)の期待できる情報量の平均値を$H(A)$といい，$H(A)$は，Appendix 2 の(3)式で求めることができる。

$H(A)$は，ある系の情報量の「乱雑さ」あるいは「あいまいさ」の程度を表している。

この値の上下限の性質を以下に述べる。

存在する事象（確率事象系A）の中で，ある任意の一つの事象の生起確率が確定している時($^\forall P_i=1$)，すなわち，その事象の中の任意の事象の生起が既知であることは，$H(A)$の値が最小値を示す。換言すると，確率事象系Aに関して予め有している知識が完全であることを意味する。

逆に，事象の生起に関して，それぞれの事象が等確率で生ずる時($^\exists P_i=1/t$)，すなわち，予め何ら知識を持ち合わせていない場合（知識が最もあいまいであるときに）には，$H(A)$は最大値を示す。

μは，確率事象系Aにおける確率変数δ_iの平均値のことであり，Appendix 3 の(4)式で求めることができる。

$H(A)$においては，前後半を通じての点数の差分についての数値であり，μにおいては，前半(μ_1)と後半(μ_2)のそれぞれにおける点数の差分についての数値をおのおの求めたので，$H(A)$は，各チームにおける一試合を通じての大局的な得点経過の様相を定量的に示し，μ_1，μ_2は，各チームにおける前半と後半に期待できる瞬時的な得点の傾きの平均値を定量的に示している。

試合の得点がすべて偶発的になされたものでないとするならば，確率論的方法で求めた

$H(A)$, μ_1, μ_2 は，それぞれ実際の試合における各チームの試合のある意図に従属する得点配分の様相を定量的に示している。

V. 結　　　果

$H(A)$, μ_1, μ_2 は，それぞれチームの得点獲得の何らかの特質を示している。

δ_i を確率変数（情報）としたとき，それぞれの情報の出現頻度の分布は，ある任意の確率分布をもつ。

各チームの各試合における確率分布が表わす離散型確率空間（図1，図2，図3，図4）を用いて $H(A)$ を Appendix 2 の(3)式より求め，各チームの各試合の前半と後半における確率分布が表わす離散型確率空間（図5，図6，図7，図8，図9，図10，図11，図12）を用いて μ_1, μ_2 をそれぞれ Appendix 3 の(4)式より求めた。

図 1　試合(α)，チーム a の離散型確率空間

$$A=\begin{Bmatrix} 0.00, & 0.03, & 0.04, & 0.05, & 0.06, & 0.07, & 0.08, & 0.09, & 0.10, & 0.12, & 0.13, & 0.15, & 0.17, & 0.50 \\ \\ 21, & 4, & 3, & 1, & 1, & 2, & 1, & 1, & 2, & 2, & 1, & 1, & 3, & 3 \end{Bmatrix}$$

図 2　試合(α)，チーム b の離散型確率空間

$$A=\begin{Bmatrix} 0.00, & 0.03, & 0.04, & 0.06, & 0.07, & 0.10, & 0.11, & 0.13, & 0.14, & 0.17, & 0.25 \\ \\ 25, & 1, & 4, & 3, & 3, & 2, & 1, & 2, & 1, & 3, & 1 \end{Bmatrix}$$

図 3　試合(β)，チーム a' の離散型確率空間

$$A=\begin{Bmatrix} 0.00, & 0.02, & 0.03, & 0.04, & 0.05, & 0.06, & 0.07, & 0.08, & 0.10, & 0.12, & 0.13, & 0.17, & 0.25 \\ \\ 19, & 2, & 4, & 1, & 3, & 3, & 2, & 3, & 4, & 1, & 1, & 2, & 2 \end{Bmatrix}$$

図 4　試合(β)，チーム b' の離散型確率空間

$$A=\begin{Bmatrix} 0.00, & 0.04, & 0.05, & 0.06, & 0.07, & 0.08, & 0.13, & 0.17, & 0.20, & 0.50 \\ \\ 24, & 4, & 4, & 2, & 2, & 1, & 3, & 3, & 1, & 3 \end{Bmatrix}$$

図5　試合(α)，チーム a の μ_1 の離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.10, & 0.13, & 0.17, & 0.50 \\ \\ 11, & 2, & 2, & 3, & 3 \end{matrix}\right\}$$

図6　試合(α)，チーム a の μ_2 の離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.06, & 0.07, & 0.08, & 0.13, & 0.17, & 0.25, & 0.50, & 1.00 \\ \\ 8, & 4, & 2, & 1, & 1, & 1, & 1, & 2, & 1 \end{matrix}\right\}$$

図7　試合(α)，チーム b の μ_1 離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.06, & 0.07, & 0.10, & 0.11, & 0.12, & 0.13, & 0.17, & 0.25 \\ \\ 7, & 3, & 2, & 2, & 1, & 1, & 1, & 3, & 1 \end{matrix}\right\}$$

図8　試合(α)，チーム b の μ_2 の離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.13, & 0.25, & 0.33, & 0.50 \\ \\ 16, & 1, & 2, & 1, & 1 \end{matrix}\right\}$$

図9　試合(β)，チーム a' の μ_1 の離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.06, & 0.07, & 0.08, & 0.10, & 0.13, & 0.17, & 0.25 \\ \\ 10, & 1, & 2, & 2, & 2, & 1, & 2, & 2 \end{matrix}\right\}$$

図10　試合(β)，チーム a' の μ_2 の離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.06, & 0.07, & 0.08, & 0.09, & 0.10, & 0.11, & 0.13, & 0.25, & 0.38, & 0.50, & 1.00 \\ \\ 7, & 2, & 2, & 1, & 1, & 1, & 1, & 1, & 2, & 1, & 2, & 1 \end{matrix}\right\}$$

図11　試合(β)，チーム b' の μ_1 の離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.07, & 0.13, & 0.17, & 0.20, & 0.50 \\ \\ 11, & 2, & 2, & 3, & 1, & 3 \end{matrix}\right\}$$

図12　試合(β)，チーム b' の μ_2 の離散型確率空間

$$A=\left\{\begin{matrix} 0.00, & 0.08, & 0.10, & 0.17, & 0.25, & 0.50 \\ \\ 12, & 2, & 2, & 2, & 3, & 1 \end{matrix}\right\}$$

$H(A)$，μ_1, μ_2を表1に示す。

表1　各試合，各チームの $H(A)$，μ（μ_1, μ_2）

試　合	チーム	$H(A)$	μ_1	μ_2
(α)	a	2.90	0.12	0.14
	b	2.43	0.08	0.07
(β)	a'	3.02	0.07	0.17
	b'	2.48	0.12	0.09

注）優勝チーム＝a，a'
添数1＝前半の数値
添数2＝後半の数値

Ⅵ. 考　　察(4)(5)(6)

「将来を予想して作戦をたてる。」すなわち，予測をして勝負する場合，この予測が当たるならば，これほど都合のよい必勝法はない。しかし，予測は，当たる場合と当たらない場合がある。このことは，避けることができない事実である。予測の方法はさまざまである。例えば，有識者のカンに頼る方法，過去の数値的なデータを数理科学的な手段を用いて解析し，将来の傾向を予測する方法である。本報では，後者の方法を用いる。「V. 結　果」の数値について，以下に質的に議論する。

すなわち，上述の2つの試合内容における表1，表2，表3のそれぞれの数値について定性的に考察する。

$H(A)$について考察する。

表1の各試合における，優勝チームと準優勝チームの$H(A)$を規格化した。

$H(A)$の大小関係は以下の定性的な意味を持つ。

試合 (α)，(β) のそれぞれにおける各チームの得点経過の瞬時的な傾きを示したところの累積度数の差分の$H(A)$の値は，各チームの試合のある意図に従属する得点配分の様相を定量的に示している。

試合 (α)，および，試合 (β) で優勝したチームはいずれも，$H(A)$が準優勝のチームよりも大である。

表 2　規格化した各試合，各チームの$H(A)$

試　合	チーム	$H(A)$
（α）	a	1.22
	b	1.00
（β）	a'	1.19
	b'	1.00

注）優勝チームa, a'
　添数１＝前半の数値
　添数２＝後半の数値

$H(A)$とは，ある系の情報量の「乱雑さ」の程度のことである。この場合，情報量を「チームの得点経過の瞬時的な傾き」と定義しているので，$H(A)$の値が大きいチームは，ある任意の時間帯における得点獲得能力の予測がつきにくいのである。

また，$H(A)$の値が大きいチームとは，如何なる試合の状況にも適応できるチームのことを意味するのである。

$H(A)$の大小関係より，上述の様なチームを造る事が今後指導者が試合に勝てる選手やチームの育成上で重要な意味を持つと考えることができるので，上述の様なチームを造る事を実践するためには，合理的な練習方法を指導者が創造しなければならない。

μについて考察する。

表１の数値について，各試合の各チームにおける前半と後半のμを規格化した。

表 3　規格化した各試合，各チームのμ

試　合	チーム	μ_1	μ_2
（α）	a	1.00	1.17
	b	1.00	0.88
（β）	a'	1.00	2.43
	b'	1.00	0.75

注）優勝チーム＝a，a'
　添数１＝前半の数値
　添数２＝後半の数値

優勝チームは，前半に比べて後半の方が期待できる「チームの得点経過の瞬時的な傾き」が大きい（$\mu_1<\mu_2$）。

準優勝チームは，前半に比べて後半の方が期待できる「チームの得点経過の瞬時的な傾き」が小さい（$\mu_1>\mu_2$）。

これは，試合に勝つチームの方が，能力的に試合の後半に急激な得点を獲得する可能性が高いことを示している。また，試合とは対戦チーム相互の様々な対応（オフェンスとデフェンスの対応）が点数獲得において影響しているので，この能力とは個人の技能や，チームの集団戦術

や，選手の行動体力（精神的，および身体的）等を意味すると考えることができる。

試合に勝ったチームと負けたチームの μ_1 と μ_2 の大小関係の逆の相関は，試合の進行とともに上述の能力を試合の後半に充分に発揮できかつ相手のチームの点数を防御する能力(ディフェンス力）を試合の後半に維持できるチームの能力差が影響していると考えることができる。

すなわち，試合に勝つチームを造るために指導者は，オフェンス面では試合の後半に爆発的な得点を獲得でき，ディフェンス面では試合の後半に特に相手に得点を許す機会を縮小する技術と技能を選手が発揮できるように心がけた指導を行わなければならない。

Ⅶ. ま　と　め

これまで述べてきたことを以下にまとめる。

(1)試合を有利に展開するチームは，様々な得点配分を意図的に実行することができる。すなわち，対戦する相手は，計時的な得点配分の様相を予測することができない。

(2)試合に勝つチームは，瞬時的な高得点の獲得を特に試合の後半に実践し，同時に相手チームの得点の機会を意図的に少なくさせていることが確率論的に証明できた。

上述より，以下に述べるハンドボール競技の指導方法が考えられる。

すなわち，チームの戦力の向上のためには，上述の(1)，(2)の視点を重視しながらの25分間のランニングタイムの模擬試合を行うよりも，(1)，(2)の視点を実際の試合に実戦できるように5分間または10分間に確実に $^{\forall}$m 点とれる分習法的な練習を漸進的に行う方法を提案する。

Appendix 1

差分公式 $\delta_i=(N_{i+1}-N_{i-1})/2N_i,\ 1\leqq i\leqq t$ (1)

N_i＝時刻 i における累積度数。

Appendix 2

δ_i の出現頻度をそれぞれ $f_1, f_2, \ldots, f_t$ とする。

$$P_i=f_i/\sum_{i=1}^{t}f_i,\quad \sum_{i=1}^{t}P_i=1 \tag{2}$$

とおくとき，離散型空間 A

$A=\begin{Bmatrix}\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_t\\ P_1, P_2, \ldots, P_t\end{Bmatrix}$ の $H(A)$ を以下の式により定義する。

$$H(A)=-\sum_{i=1}^{t}[P_i\log_2(P_i)] \quad (\text{単位＝ビット}) \tag{3}$$

Appendix 3

$$\mu=\sum_{i=1}^{t}\delta_i\cdot P_i \tag{4}$$

（追記）
本報にあたり多大なるご協力を賜った日本体育大学自然科学研究室の北田韶彦博士に心より謝意を表します。

（文献）

(1) 山内　賢他：「自励系現象としての動態評価(4)—ハンドボール競技における得点経過の様相—」，日本スポーツ方法学会第2回大会号，p. 16（1991）。
(2) 山内　賢他：「動態評価，情報エントロピー，期待値からみたハンドボール競技における試合の得点経過の様相」，日本体育学会第42回大会号，p. 768（1991）。
(3) 山内　賢：「分散を用いたスポーツにおける技術の分析」，慶應義塾大学体育研究所紀要第30巻第1号，p. 61-66（1990）。
(4) 宮川　洋他：「情報と符号の理論」，岩波書店，p. 35-59（1982）。
(5) 道脇義正：「情報科学のための数学入門」，東京図書（1991）。
(6) 大村　平：「戦略ゲームのはなし」，日科技連（1990）。